



**FACULTAD DE BIOLOGÍA, CIENCIAS AMBIENTALES Y QUÍMICA**

**GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**EL ANTROPOCENO: EL GRAN DEBATE**

Autor: Begoña Pérez Martínez  
Tutor/es: Teresa Bardají Azcárate

2018



FACULTAD DE BIOLOGÍA, CIENCIAS AMBIENTALES Y QUÍMICA

-

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES  
TRABAJO DE FIN DE GRADO

**EL ANTROPOCENO: EL GRAN DEBATE**

Tribunal de calificación:

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal 1º: \_\_\_\_\_

Vocal 2º: \_\_\_\_\_

Calificación: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

2018

## **RESUMEN**

El término Antropoceno hace referencia a una nueva época geológica caracterizada por las evidencias de las actividades humanas en el registro geológico. En los últimos años, el Antropoceno ha cobrado una gran relevancia en la comunidad científica y se pretende formalizar e incluir dentro de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, para lo cual se ha constituido el Grupo de Trabajo del Antropoceno (conocido comúnmente como AWG). Sin embargo, no está siendo tarea sencilla debido a las diferentes vertientes de opinión sobre qué evidencia de la actividad humana es la más significativa y reconocible en el registro geológico a escala global, lo que ha suscitado un intenso debate. En función de estas evidencias se han sugerido cuatro posibles alternativas para establecer los límites del Antropoceno: el Antropoceno temprano, la Colonización de América, la Revolución Industrial y la Gran Aceleración. De todas ellas, la más aceptada por el AWG y la comunidad científica es la Gran Aceleración. En base a ella, se propone la detonación del dispositivo atómico de Trinidad en Alamogordo en Nuevo México, en 1945, como posible referencia para establecer los límites del Antropoceno.

## **PALABRAS CLAVE**

“Antropoceno”; “AWG”; “Estratigráfica” “Antropoceno temprano”; “Gran Aceleración”

## **KEYWORDS**

“Anthropocene”; “AWG”; “Stratigraphic”; “Early Anthropocene”; “Great Acceleration”

## ÍNDICE

EPÍGRAFE	PÁGINAS
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>4</b>
3.1. Definición del Antropoceno.....	4
3.2. Antecedentes e importancia actual del Antropoceno .....	4
3.3. Anthropocene Working Group .....	5
3.4. Validez del Antropoceno.....	6
3.5. Unidad jerárquica del Antropoceno .....	7
3.6. Límites del Antropoceno.....	8
<b>4. SÍNTESIS Y CONCLUSIÓN.....</b>	<b>23</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>25</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

---

El Antropoceno es considerado una nueva unidad geológica derivada de las actividades humanas sobre la superficie terrestre (Cearreta *et al.*, 2015). Este término permite definir un nuevo intervalo de la historia de la Tierra caracterizado por el impacto de las actividades humanas sobre el sistema terrestre a nivel global y unos registros asociados a los impactos humanos sobre los estratos del todo el mundo (Finney, 2015).

En los últimos años, el interés por el concepto de Antropoceno se ha visto incrementado, dándose un crecimiento exponencial en el número de publicaciones y citas (Cearreta, 2015). De hecho, actualmente, el término Antropoceno está siendo examinado para su formalización e inclusión en la Escala de Tiempo Geológico por el grupo de trabajo del Antropoceno, más conocido como AWG (Cearreta, 2015; Cearreta *et al.*, 2015). El AWG es un grupo de trabajo perteneciente a la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario, organismo que forma parte de la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS) dentro de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS). La Comisión Internacional de Estratigrafía es la responsable de establecer una escala estratigráfica estándar aplicable a escala global (Commission on Stratigraphy, 2013-2016).

Es importante destacar que los criterios utilizados para la definición de esta nueva unidad geológica coinciden con los utilizados para definir otras unidades estratigráficas cuaternarias (por ejemplo, señales de forzamientos cíclicos del cambio climático). Sin embargo, a diferencia de otras unidades geológicas cuaternarias, a éstos se le suma un criterio adicional, la modificación humana del medio ambiente que ha dado lugar a numerosas señales estratigráficas de origen antropogénico (Waters *et al.*, 2016).

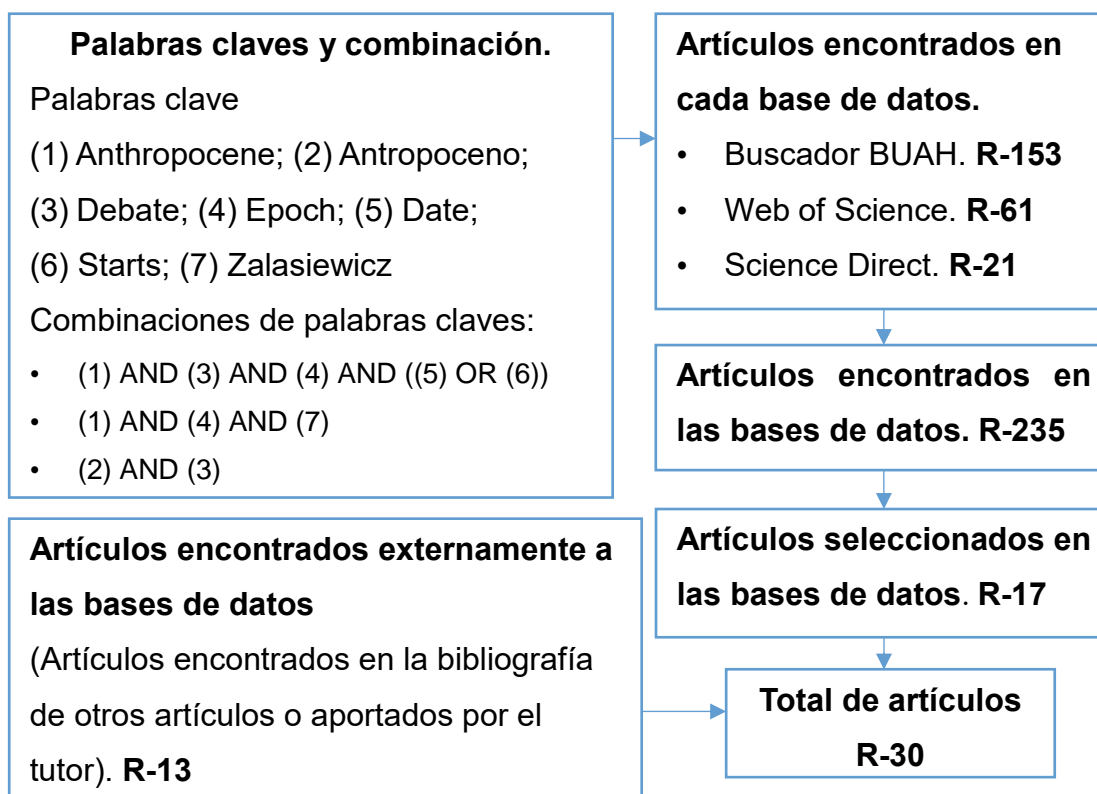
Por eso, la definición del Antropoceno no está siendo tarea sencilla debido a diferentes vertientes de opinión sobre cuál de las señales geológicas es más apropiada para definir los límites del Antropoceno, de manera que su definición, inicio y aplicación están siendo sometidos a un intenso debate (Lanata *et al.*, 2017).

Para poder incluir el Antropoceno dentro de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional es necesario determinar su posible nivel jerárquico tanto en unidades geocronológicas como cronoestratigráficas (Cearreta, 2015). La escala geocronológica se refiere a la unidad temporal durante la cual se desarrolló la unidad cronoestratigráfica y ésta corresponde a su equivalente en estratos (Commission on Stratigraphy, 2013-2016). En base a ello, la mayoría de los autores y en particular, el grupo de trabajo del Antropoceno consideran al Antropoceno como una Época dentro del Periodo Cuaternario perteneciente a la Era Cenozoica en la escala geocronológica y una Serie perteneciente al Sistema Cuaternario dentro Eratema Cenozoica en la escala cronoestratigráfica (Cearreta, 2015, 2016; Commission on Stratigraphy, 2013-2016). También se requiere establecer el inicio del Antropoceno, para lo cual se plantean diferentes propuestas: El Antropoceno temprano (neolítico) caracterizado por el desarrollo de la agricultura y ganadería, la deforestación y el incremento de gases como el dióxido de carbono y el metano (Ruddiman, 2003); la Colonización de América marcada por el intercambio de recursos y las altas tasas de mortalidad (Lewis y Maslin, 2015); la Revolución Industrial relaciona con la quema de combustibles fósiles y el incremento de cenizas (Crutzen, 2002; Zalasiewicz *et al.*, 2008); y la Gran Aceleración, marcada por el crecimiento exponencial de los factores socioeconómicos, los cambios ambientales asociados (Steffen, 2007, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015), y sobre todo, por la importante escalada nuclear (Cearreta *et al.*, 2015).

Los objetivos del presente trabajo de fin de grado consisten, por tanto, en estudiar la posible entidad del Antropoceno como la más reciente unidad geológica y definir su inicio a partir de la naturaleza de las evidencias humanas en el registro geológico. Para ello, es necesario analizar las diferentes vertientes de opinión sobre que evidencia de la actividad antrópica sobre el registro geológico es la más significativa y reconocible a escala global.

## 2. METODOLOGÍA

En el siguiente apartado se exponen los procedimientos utilizados para la búsqueda y selección de documentación e información necesaria para realizar la revisión bibliográfica. Para ello se ha realizado una búsqueda bibliográfica usando tres bases de datos disponibles a través de la web de la Biblioteca de la Universidad de Alcalá de Henares. En cada una de ellas se han empleado diversas combinaciones de palabras claves y filtros. De los artículos encontrados se han seleccionado aquellos con información relevante para el presente trabajo y siempre que fuese posible los más actualizados y con el mayor impacto sobre la comunidad científica. También, se ha podido extraer información muy relevante a través de las referencias bibliográficas de otros artículos. A continuación, se muestra un diagrama (figura 1) en el que se recoge de manera más exhaustiva el procedimiento seguido para la búsqueda y selección bibliográfica:



**Figura 1.** Procedimiento para la búsqueda y selección bibliográfica. Incluye palabras clave, combinación de palabras clave y resultados obtenidos y seleccionados.

### 3. RESULTADOS

---

#### 3.1. Definición de Antropoceno

El término Antropoceno se emplea para definir un intervalo de tiempo presente en el cual se ha producido un cambio rápido y profundo en las condiciones y procesos geológicos resultado de las actividades humanas sobre la superficie terrestre (Commission on Stratigraphy, 2013-2016; Lanata *et al.*, 2017; Zalasiewicz *et al.*, 2017).

#### 3.2. Antecedentes e importancia actual del Antropoceno

El concepto Antropoceno fue introducido en el año 2000 por Eugene Stoermer y Paul Crutzen en el contexto del Programa Internacional de la Biosfera y Geosfera (IGBP) con el objetivo de reflejar la intensidad de modificación humana sobre la superficie de la Tierra (Cearreta, 2015; Cearreta *et al.*, 2015). Otros autores como Antonio Stoppani, Svante Arrhenius o Thomas Chamberlain ya intentaron definir este término previamente (Zalasiewicz *et al.*, 2011). Según estos autores, la Tierra ha abandonado el Holoceno y ha entrado en una nueva época geológica, el Antropoceno, impulsada por el impacto de las actividades humanas sobre el sistema terrestre.

Desde entonces, el término Antropoceno se ha propagado rápidamente tanto en el entorno de las Ciencias Naturales y de la Tierra como entre las Ciencias Humanas y Sociales (Cearreta, 2015; Lanata *et al.*, 2017). Su interés es evidente por el observado incremento en el número de publicaciones y citas (Cearreta, 2015), siendo portada de revistas de gran difusión y tema de artículos de revistas científicas muy prestigiosas como *Nature* y *Science* (Finney, 2015) e incluso apareciendo nuevas revistas científicas multidisciplinares dedicadas específicamente al Antropoceno: *The Anthropocene*, *Science of the Anthropocene*, *The Anthropocene Review* y *Elementa* (Cearreta, 2015; Lewis y Maslin, 2015). También se ha visto incrementado el número de búsquedas a través de la web, llegando a las 17.600 visitas en Google Scholar en 2015 (Mikhail, 2016).



Sin embargo, pese a que el término Antropoceno aparece en numerosas publicaciones científicas no está formalmente definido.

### **3.3. Anthropocene Working Group**

La consideración inicial de formalizar el Antropoceno dentro de la comunidad estratigráfica comienza en el 2008, por parte de la Comisión de Estratigrafía de la Sociedad Geológica de Londres, debido a la importancia adquirida y al uso cada más generalizado del término Antropoceno (Zalasiewicz *et al.*, 2008).

Más tarde, en 2009, la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario designa al Grupo de Trabajo del Antropoceno (AWG, Anthropocene Working Group) como el organismo responsable de examinar formalmente el Antropoceno como unidad geológica dentro de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional (Zalasiewicz *et al.*, 2015; 2017). El AWG es el encargado de determinar la validez, el nivel jerárquico, la duración y el inicio de esta nueva unidad geológica a partir del estudio de las actividades humanas y su traducción en el registro fósil (Cearreta, 2015).

Se trata de un Grupo de Trabajo perteneciente a la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario (SQS), que forma parte de la Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS), organismo responsable de establecer una escala estratigráfica estándar aplicable a escala global, dentro de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) (Commission on Stratigraphy, 2013-2016). De manera que, para poder formalizar el Antropoceno el AWG debe presentar un informe final de la propuesta al SQS. El SQS ante una super-mayoría en las votaciones (60% de los votos favorables) emite una recomendación favorable y la envía a la ICS, la cual somete la propuesta a votación y de nuevo ante una super-mayoría toma una decisión favorable. Finalmente, el Comité ejecutivo del IUGS recibe la propuesta y la ratifica (Finney, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2017; Waters *et al.*, 2018).

El Grupo de Trabajo del Antropoceno está constituido por 38 geocientíficos (Angus, 2015; Cearreta, 2015), en su mayoría paleontólogos y estratígrafos, pero también participan representantes de otras ramas, como climatólogos,

arqueólogos, ecólogos e incluso historiadores, pues el estudio del Antropoceno implica la evaluación del impacto humano sobre el sistema de la Tierra a través de los registros históricos e instrumentales (Angus, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2017).

### **3.4. Validez del Antropoceno**

Antes de poder definir el Antropoceno como una nueva unidad geológica es necesario examinar si este es geológicamente justificable y si su formalización es útil. Dada la brevedad y delgadez de esta nueva unidad se puede cuestionar la utilidad de su formalización. Pese a ello, sí parece geológicamente justificable, ya que muestra unos registros distintivos y sustanciales. Además, los cambios producidos en el sistema terrestre tienen una escala de tiempo suficiente, una extensión global, son rápidos y podrían ser irreversibles (Zalasiewicz *et al.*, 2012; 2015; 2017).

La mayoría del AWG, casi con acuerdo unánime, considera que el Antropoceno es real y es favorable a su formalización dadas las evidencias actuales (Zalasiewicz *et al.*, 2017).

Sin embargo, algunos autores son contrarios a incorporar el Antropoceno en la Escala de Tiempo Geológico. Según Finney (2015), presidente del ICS, considerar el Antropoceno como una nueva unidad geológica es poco útil, siendo más conveniente su definición como un periodo de la historia humana. Finney (2015) argumenta que el Antropoceno se expresa en fechas humanas y no en eventos geológicos y humanos y se basa en el presente, en observaciones directas no estratigráficas, en vez de construirse del pasado a través de las rocas.

Otros autores como Autin y Holbrook (2012) tampoco consideran que el Antropoceno deba ser formalizado. Estos autores, al igual que Finney sostienen que para establecer el Antropoceno como unidad geológica se deben cumplir los requisitos estratigráficos, y en caso de no ser así es más provechoso usar el término Antropoceno para el estudio de las relaciones humanas y el sistema terrestre.

### 3.5. Unidad jerárquica del Antropoceno

La Tabla Cronoestratigráfica Internacional establece los intervalos de tiempo en los que se dividen los 4.600 millones de años de historia de la Tierra y todos los depósitos materiales formados durante dicho tiempo (Cearreta, 2015). Para poder incluir cualquier unidad geológica dentro de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional es necesario determinar su nivel jerárquico tanto en unidades geocronológicas como cronoestratigráficas (Cearreta, 2015). Estas unidades reflejan diferencias en el funcionamiento de la Tierra y cambios en sus formas de vida (Angus, 2015; Lewis y Maslin, 2016). Las unidades geocronológicas consisten en unidades temporales mientras que las cronoestratigráficas son las unidades materiales (Zalasiewicz y Waters, 2016), a partir de las cuales se definen las unidades de tiempo geológico (Finney, 2015).

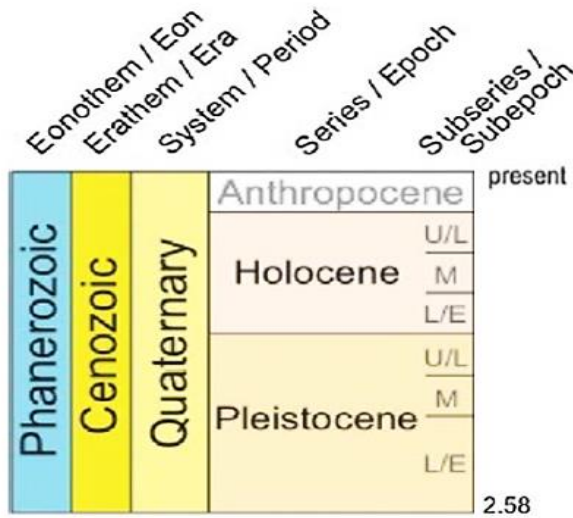
**Tabla 1.** Resultados de las votaciones para la asignación del nivel jerárquico al Antropoceno realizadas por los miembros del AWG durante el 35° Congreso Geológico Internacional. Los votos aparecen divididos entre más de una opción si se considera que tienen la misma ponderación (Zalasiewicz *et al.*, 2017. Elaboración propia).

Nivel Jerárquico del Antropoceno	Resultados de la votación
Era	2
Periodo	1,5
<b>Época</b>	<b>20,5</b>
Sub-Época	1
Edad	2
Sub-Edad	0-1
Ninguno, Incierto, Abstención	8

En vista de los resultados obtenidos en las votaciones realizadas por los miembros del AWG durante el 35° Congreso Geológico Internacional celebrado en Ciudad del Cabo (Sudáfrica) entre agosto y septiembre del año 2016, se puede afirmar que la mayoría del AWG es favorable a la asignación del

Antropoceno como una nueva época-serie, con 20,5 de los votos (Tabla 1), comprendiendo, así una unidad temporal, Época Antropoceno y una unidad equivalente en estratos, Serie Antropoceno. Esta opción se prefiere por encima del rango inferior (siendo una subdivisión del Holoceno, Edad-Piso) o de rango superior (Periodo-Sistema, Era-Eratema) (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2016; 2017).

Por tanto, la adopción del Antropoceno como una nueva Época-Serie supone abandonar el Holoceno, pero sin dejar de permanecer al Periodo-Sistema Cuaternario dentro de la Era-Eratema Cenozoica (Figura 2).



**Figura 2.** Nivel jerárquico del Antropoceno (Zalasiewicz *et al.*, 2017. Modificado).

### 3.6. Límite inferior del Antropoceno

Una vez determinada la unidad jerárquica a la que corresponde el Antropoceno (Época-serie) es necesario determinar su límite inferior.

A continuación, se exponen los criterios empleados para definir el inicio de cualquier unidad estratigráfica y posteriormente, los utilizados específicamente para el Antropoceno.

Tal y como expone Grandstien *et al.* (2012) citado en Lewis y Maslin (2015) los criterios para definir los límites de cualquier unidad de tiempo geológico son el GSSP y el GSSA. Las unidades de tiempo geológicas se definen por su límite

inferior. Los límites se determinan usando el Punto y Sección Estratotipo Global (GSSP - Global Stratotype Section and Point). Sin embargo, en ocasiones, no existen candidatos adecuados para ser considerados como GSSP. En dichos casos se utiliza la Edad Estratigráfica Estándar Global (GSSA - Global Standard Stratigraphic Ages). En definitiva, el GSSP pertenece a una escala cronoestratigráfica y el GSSA a una cronométrica (Gale y Hoare, 2012).

El GSSP indica un punto en una sección del estratotipo, es decir, se refiere a la ubicación de un marcador dentro de una porción de material que se ha desarrollado con el paso del tiempo. Un marcador o clavo dorado (“Golden Spike”) es una expresión de una perturbación en una sección estratigráfica, que refleja un acontecimiento de cambio a nivel global. Este GSSP debe tener un marcador principal y otros secundarios; una correlación regional-global; una sedimentación continua y un espesor adecuado tanto por encima como por debajo para demostrar la transición; una ubicación muy exacta, es decir, debe conocerse su latitud, longitud y altura/profundidad, ya que un GSSP solo puede ubicarse en un solo lugar en la Tierra; ser accesible para posteriores estudios e investigaciones; y tener provisiones para su conservación y protección (Grandstien *et al.*, 2012 citado en Lewis y Maslin, 2015; Remane *et al.*, 1996, Remane 1997, 2003 y Smith *et al.*, 2014 citado en Waters *et al.*, 2018). El GSSA, por su parte, corresponde a una fecha acordada en el calendario (Cearreta, 2015).

Es importante destacar que el GSSP está mejor considerado que el GSSA ya que el registro fósil da una mejor resolución que la selección de una fecha (Zalasiewicz *et al.*, 2017). Un ejemplo de GSSP son las unidades del Fanerozoico (Gradstein *et al.*, 2004 citado en Gale y Hoare, 2012) mientras que un ejemplo de GSSA son las unidades del Precámbrico (Grandstein *et al.*, 2004 y Robb *et al.*, 2004 citado en Gale y Hoare, 2012).

Por tanto, para definir formalmente el Antropoceno como unidad de tiempo geológica se requiere establecer su límite inferior a partir de GSSP y el GSSA.

Sin embargo, la modificación humana del medio ambiente ha dado lugar a numerosas señales estratigráficas de origen antropogénico (Waters *et al.*, 2016).

Esta situación deriva en un intenso debate sobre qué evidencia de las actividades humanas sobre el registro geológico es la más significativa y reconocible en el sustrato geológico a escala global. Es importante tener en cuenta que no se trata de representar el inicio del cambio antrópico sino de ver si el registro estratigráfico ha cambiado lo suficiente para hacer justificable y de utilidad una nueva unidad geológica (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015). Como resultado de las numerosas evidencias aparecen diversas alternativas que marcan el inicio del Antropoceno.

En general, se consideran tres alternativas para el inicio del Antropoceno que corresponden a puntos de inflexión significativos en la historia de la Tierra (Zalasiewicz *et al.*, 2015): El Antropoceno temprano, la Revolución Industrial y la Gran Aceleración. Algunos autores, como Simon Lewis y Mark Maslin (2015), además, añaden otra alternativa, la Colonización de América a la cual se le asocia la Hipótesis Orbis. Otros autores, como Wolff (2014) citado en Zalasiewicz *et al.* (2015), incluso sugieren que los cambios ambientales más significativos sobre la superficie terrestre van a tener lugar en un futuro lejano y que por ello, el Antropoceno debería ser estudiado más adelante.

En los próximos párrafos se va a profundizar en las diferentes propuestas de inicio del Antropoceno, teniendo en cuenta las características de las señales antropogénicas, los marcadores estratigráficos, los GPPS y los GSSA, con el objetivo de hallar la alternativa más adecuada comparando las ventajas e inconvenientes. También se analizará la postura del AWG ante cada una de las propuestas a partir de las votaciones realizadas por los miembros del AWG 35º Congreso Geológico Internacional (Ciudad del Cabo, del 27 agosto al 4 septiembre de 2016). Es importante destacar que los votos aparecen divididos entre más de una opción si se ha considerado que tienen la misma ponderación.

### **(1) Antropoceno temprano**

Durante el Antropoceno temprano se dan las primeras evidencias de los impactos humanos sobre la superficie terrestre (Zalasiewicz *et al.*, 2015). Las señales del Antropoceno temprano están muy vinculadas con la deforestación,

la agricultura y la ganadería ocurridas durante el Neolítico (Cearreta, 2015). En base a ello, se proponen los siguientes marcadores estratigráficos:

Según Ellis, *et al.* (2013) citado en Lewis y Maslin (2015), se puede considerar como marcador estratigráfico el incremento del polen fósil procedente de plantas domésticas, ya que la agricultura implica el remplazo de la vegetación natural por vegetación doméstica. El origen de la agricultura marcaría el comienzo del Antropoceno temprano. Sin embargo, la presencia de polen fosilizado de plantas domésticas no es un marcador estratigráfico adecuado, pues la agricultura se desarrolla en diferentes momentos de la historia en distintas partes del planeta, por lo que es diacrónico (Lewis y Maslin, 2015).

Para Crutzen y Stoermer (2000), Ruddiman y Thompson (2001) y Ruddiman (2003) otros posibles marcadores estratigráficos son el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> acumulado en las burbujas de aire del hielo glaciar, ya que la agricultura y la ganadería extensiva implica la deforestación, al sustituirse bosques por cultivos, pastos y arrozales, liberando CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (Steffen *et al.*, 2007). Tal y como se observa en la figura 3, esta liberación supone un incremento de su concentración y la reversión de la tendencia decreciente (Ruddiman, 2003). Teniendo en cuenta estos marcadores estratigráficos, el Antropoceno temprano comenzaría o bien hace aproximadamente 8.000 años B.P si se considera el incremento de CO<sub>2</sub> (figura 3) derivado de la sustitución de bosques por cultivos y pastos (Ruddiman y Thompson, 2001; Ruddiman, 2003; Ellis *et al.*, 2013 citado en Lewis y Maslin, 2015) o bien hace 5.000 años B.P si lo que se tiene en cuenta es el punto de inflexión del CH<sub>4</sub> (figura 3) consecuencia de la introducción de los arrozales (Ruddiman, 2003; Blunier *et al.*, citado en Lewis y Maslin, 2015). Según Ruddiman (2003), durante estos periodos el CO<sub>2</sub> pasa de 260 a 280 ppm mientras que el CH<sub>4</sub> aumenta de 450 a 700 ppbv. Pero recientes estudios indican que el incremento de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> puede no ser resultado de la agricultura (Singarayer *et al.*, 2011 citado en Waters *et al.*, 2014 y en Lewis y Maslin, 2015).

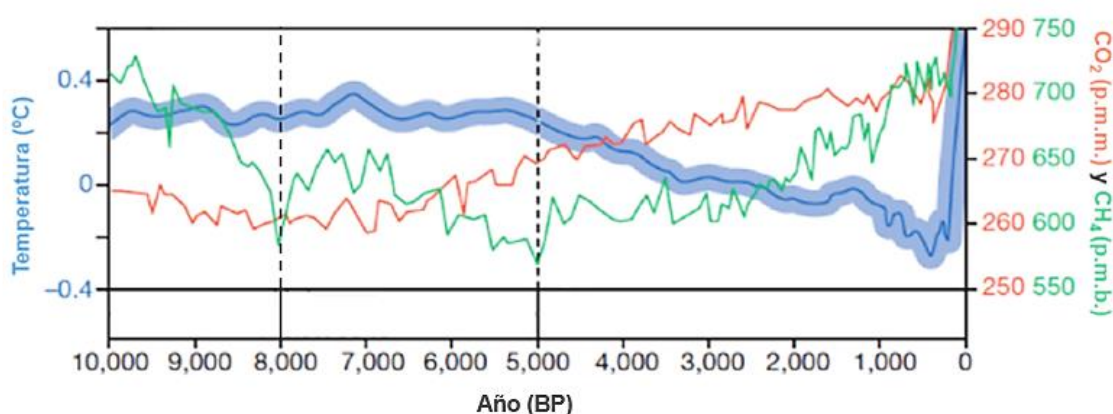
Otros autores, Certini y Scalenghe (2011) han propuesto como marcador estratigráfico los suelos antropogénicos o antrosoles derivados del arado, la fertilización y la deposición de artefactos (Certini y Scalenghe, 2011 citado en Braje, 2016 y en Smith y Zeder, 2013) formados hace 3.000/2.000 años B.P,

pues en ese momento el estado natural de los suelos es alterado por las civilizaciones (Certini y Scalenghe, 2011 citado en Smith y Zeder, 2013), pero al igual que ocurre con el polen de plantas domésticas es diacrónico (Gale y Hoare, 2012).

Por tanto, el límite inferior del Antropoceno temprano es difícil de seguir y correlacionar debido a que las señales de cambio antropogénico (artefactos, biotas antrópicamente modificadas de vegetales y animales) reflejan una expansión, intensidad y naturaleza variable. Además, los marcadores estratigráficos solo son significativos a escala regional y local, ya que a escala global son diacrónicos, oscilan entre milenios y decenas de milenios.

De manera que no se pueden determinar un GSSA o un GSSP adecuado que sea representativo del Antropoceno temprano.

Algunos autores como los citados anteriormente son favorables a que el Antropoceno temprano sea el comienzo del Antropoceno. Sin embargo, en función de los resultados obtenidos en las votaciones realizadas en el 35º Congreso Geológico Internacional por el AWG, se puede concluir que muy pocos consideran el Antropoceno temprano como inicio real del Antropoceno. Para dicha votación únicamente se consideraron los 8.000 BP, que no adquiere ningún voto y 5000 BP, que obtiene 1,3 (Zalasiewicz *et al.*, 2017).



**Figura 3.** Antropoceno temprano. Tendencias de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> y la temperatura. Puntos de inflexión del CO<sub>2</sub> hace 8.000 años y del CH<sub>4</sub> hace 5.000 años que marcan el posible inicio del Antropoceno (Lewis y Maslin, 2015. Modificado).



## **(2) Colonización de América e hipótesis Orbis**

La colonización de América por los europeos es una propuesta bastante cuestionable planteada por Lewis y Maslin (2015).

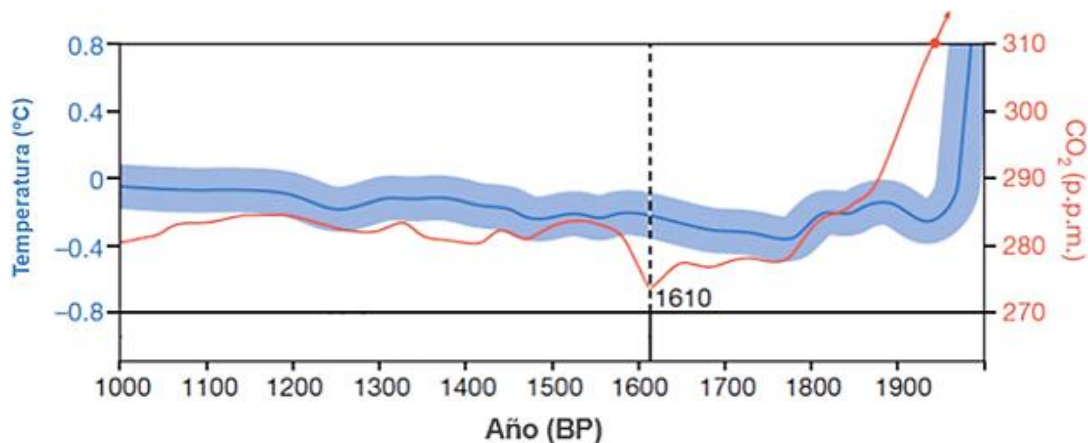
Esta alternativa se basa en el intercambio de recursos (alimentos, plantas, animales, etc.) durante los años 1492 y 1800 entre los países colonizadores y los colonizados. En base a ello, se sugiere como marcador estratigráfico el polen fósil, ya que el intercambio de recursos supone la aparición de polen de especies nuevas no existentes hasta el momento en esos continentes (Lewis y Maslin, 2015). Pero no sirve como marcador estratigráfico, pues no es sincrónico, la propagación del polen tiene lugar durante siglos (Zalasiewicz, 2015).

Esta propuesta también considera el descenso poblacional producido durante la colonización y derivado de guerras, enfermedades, hambre, esclavitud. Como consecuencia de este declive poblacional se produjo un cese de la agricultura y con ello una regeneración de los bosques, lo cual produjo una gran disminución del CO<sub>2</sub>, dándose el mínimo en 1610 (figura 4). A este suceso se le denomina hipótesis de Orbis. De modo que, el mínimo de CO<sub>2</sub> presente en las burbujas de aire del hielo glacial se puede considerar como marcador estratigráfico (Lewis y Maslin, 2015).

Sin embargo, tampoco puede utilizarse como un marcador estratigráfico porque es un proceso natural, pues la tendencia del CO<sub>2</sub> en esos momentos es la de disminuir (Zalasiewicz, 2015).

Por tanto, no se pueden establecer un GSSA o un GSSP apropiado para la Colonización de América, ni tampoco para la Hipótesis Orbis.

Esta última hipótesis se ha tenido en cuenta para las votaciones llevadas a cabo por la AWG en el 35° Congreso Geológico Internacional, pero no ha obtenido ningún voto a favor (Zalasiewicz *et al.*, 2015).



**Figura 4.** Colonización de América. Tendencias de la concentración de CO<sub>2</sub> y la temperatura. Mínimo de CO<sub>2</sub> en 1610 en el hielo glaciar que define el posible inicio del Antropoceno (Lewis y Maslin, 2015. Modificado).

### (3) Revolución Industrial

Otra propuesta es la que vincula el inicio del Antropoceno con la Revolución Industrial o Industrialización. La industrialización tiene lugar entre finales del siglo XVIII (Crutzen, 2002) y principios del siglo XIX (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015), y está marcada por la invención de la máquina de vapor por James Watt (Crutzen, 2002; Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015) en las décadas 1760 y 1880 (Pomeranz, 2000 citado en Lewis y Maslin, 2015).

La Revolución industrial representa el salto de un período de crecimiento lento de la población humana a otro de crecimiento rápido (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015). Desde 1800 la población crece en torno a un 6% (Etheridge *et al.*, 1996 citado en Steffen *et al.*, 2007). Este crecimiento poblacional supone un impulso en la industria y un incremento del uso de combustibles fósiles (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015) en aproximadamente un 40% (Etheridge *et al.*, 1996 citado en Steffen *et al.*, 2007).

El aumento del uso de combustibles fósiles conlleva el incremento de productos resultantes de su quema, es decir, cenizas volátiles procedentes del carbón (Lewis y Maslin, 2015) y el aumento de gases efecto invernadero: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O (Gibbard y Walker, 2013 citado en Waters *et al.*, 2014; Wolff, 2014 citado en Lewis y Maslin, 2015). Según diversos autores recogidos en Steffen *et al.* (2007), el CO<sub>2</sub> llegó a alcanzar los 300 ppm (McNeill, 2001 citado en Steffen *et al.*, 2007),

el CH<sub>4</sub> los 1250 ppbv y el N<sub>2</sub>O pasó de los 272 a los 288 ppbv (Blunier *et al.*, 1993 y Machida *et al.*, 1995 citado en Steffen *et al.*, 2007).

Tanto las cenizas del carbón como los gases mencionados anteriormente pueden ser utilizados como marcadores estratigráficos. Sin embargo, la Revolución Industrial se desarrolló en Europa y Norteamérica con lapso de un siglo (Waters *et al.*, 2014 en Zalasiewicz *et al.*, 2015) y continua en la actualidad en China e India (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015), por lo que los marcadores estratigráficos asociados a la industrialización son diacrónicos (Waters *et al.*, 2014; Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015). Además, está afectado por numerosas discontinuidades a escala local. Por otro lado, el incremento de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O es gradual lo que no permite establecer un límite preciso (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015).

Por estos motivos, no se pueden considerar como marcadores estratigráficos, con lo cual, no es posible establecer un GSSA y GSSP representativo de la Revolución Industrial.

Inicialmente se designó la Revolución Industrial (marcada por la invención de la máquina de vapor en 1783) como el inicio del Antropoceno (Crutzen, 2002). Sin embargo, en las votaciones realizadas en el 35° Congreso Geológico Internacional por el AWG, la consideración de la Revolución Industrial como inicio del Antropoceno en 1800 no obtuvo ningún voto (Zalasiewicz *et al.*, 2017).

#### **(4) Gran Aceleración**

Por último, se propone el comienzo de la “Gran aceleración” como el inicio del Antropoceno. El concepto “Gran Aceleración” fue acuñado en 2005 por Will Steffen junto con otros autores en su libro “Global Change and the Earth System”. No se trata de un término original sino que es un homenaje al término “Gran transformación” introducido Karl Polanyi en su libro “Gran transformation” (Angus, 2015; Steffen, *et al.*, 2015). Se denomina como Gran Aceleración al proceso que se desarrolla en la segunda mitad del siglo XX (Cearreta, 2015; Steffen *et al.*, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015) tras la segunda guerra mundial (Steffen *et al.*, 2007; Cearreta, 2015; Zalasiewicz, 2015) caracterizado por la

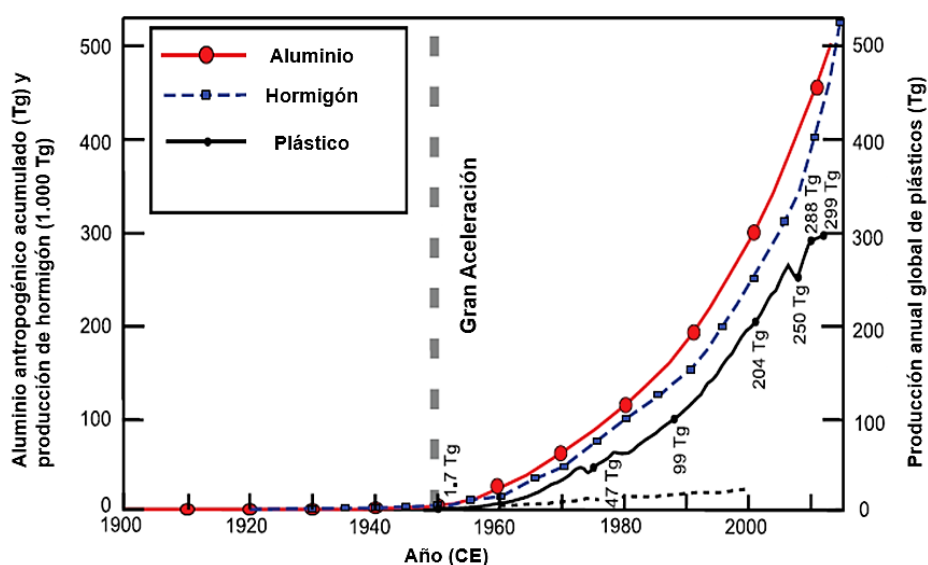
rapidez de las transformaciones antrópicas sobre el sistema terrestre (Steffen *et al.*, 2004 citado en Angus, 2015). La Gran Aceleración proporciona claras evidencias de cambios antrópicos en el estado y funcionamiento del sistema terrestre fuera del rango de variabilidad del Holoceno (Steffen *et al.*, 2015), es, por tanto, un perfecto candidato para marcar el inicio del Antropoceno (Zalasiewicz *et al.*, 2012).

Durante este periodo de tiempo se da un importante desarrollo económico (Steffen *et al.*, 2007 y 2015; Waters *et al.*, 2014; Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015). Según Steffen *et al.* (2007) la economía aumenta en torno a un 15%. Del mismo modo, se produce un gran crecimiento poblacional y urbanístico (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015; Steffen *et al.*, 2007 y 2015). Según Cearreta (2015) y Zalasiewicz *et al.* (2015), la proporción de personas que viven en ciudades ha pasado de entorno a un 27% a alrededor de un 53% en los últimos 50 años. Como consecuencia, la industria, la minería y la agricultura se encuentran en pleno auge (Steffen *et al.*, 2007). Este periodo de tiempo, también se caracteriza por el incremento del uso de los transportes (Zalasiewicz *et al.*, 2015; Steffen *et al.*, 2007). Todas estas actividades conllevan, además, un aumento del consumo de recursos (Steffen *et al.*, 2015). Sin embargo, uno de los fenómenos más destacables es la impresionante escalada nuclear (Cearreta, 2015; Cearreta *et al.*, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015). Todo ello, a su vez, ha producido cambios ambientales significativos (Steffen *et al.*, 2007 y 2015; Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2015).

En vista a lo anterior, es evidente la presencia de multitud de marcadores estratigráficos entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Nuevos materiales y artilugios de origen antropogénico, los llamados tecnofósiles (Zalasiewicz *et al.*, 2014). Destacan fundamentalmente los plásticos. El uso de plásticos se ha visto incrementado en los últimos 50 años, ha pasado de fabricarse 2 millones de toneladas/año al en el año 1945 a fabricarse 300 millones de toneladas/año en la actualidad (figura 5). Se trata de un material muy persistente, ya que tarda mucho tiempo en degradarse (sobre todo si están enterrados) (Cearreta, 2015) y cuando lo hace libera nuevos materiales (Waters *et al.*, 2014; Cearreta, 2015). Además, los

residuos plásticos se encuentran muy ampliamente distribuidos tanto en sedimentos terrestres como marinos (Cearreta, 2015). Por eso, se considera que los plásticos y sus derivados son un claro marcador estratigráfico. Otros tecnofósiles pueden ser el vidrio, el hormigón y el aluminio. Según Zalasiewicz *et al.* (n.d.) y U.S. Geological Survey (2010) citados en Waters *et al.* (2016), tanto el hormigón como el aluminio han aumentado considerablemente, llegando a producir 500 toneladas en la actualidad.

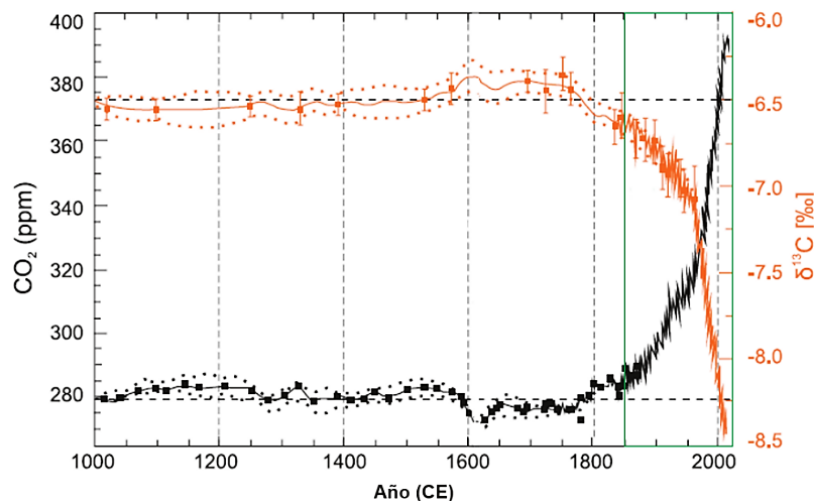


**Figura 5.** Producción de nuevos de materiales antropogénicos: Aluminio, hormigón y plástico. Crecimiento de la producción de aluminio (suponiendo una tasa de reciclaje del 50%), hormigón (suponiendo que la mayoría del cemento se usa para su fabricación y este se compone de un 15% de cemento) y plástico, entre los años 1990 y 2010 (Waters *et al.*, 2016. Modificado).

- Partículas resultantes de la quema de combustibles fósiles: partículas de carbón negro (BC), esferas de cenizas inorgánicas (IAS) y partículas carbonáceas esféricas (SCP). Todas ellas muestran un marcado aumento desde aproximadamente 1950. Se trata de partículas suspendidas en el aire que dejan un marcador permanente en los sedimentos y en el hielo glaciar (Waters *et al.*, 2016; Waters *et al.*, 2018).
- Contaminantes orgánicos persistentes o COP (Muir y Rose, 2007 citado en Zalasiewicz *et al.*, 2015) y metales pesados poco frecuentes en la naturaleza (Leorri *et al.*, 2014 y Galuszka *et al.*, 2014 citado en Zalasiewicz *et al.*, 2015). Entre los metales pesados destaca el plomo contenido principalmente en la

gasolina, ya que durante el 1960 se da un contenido de plomo del 200% con respecto a la línea base del Holoceno en el hielo glaciar (Wolff, 2013 citado en Waters *et al.*, 2014). Tanto los contaminantes orgánicos persistentes como los metales pesados almacenados en el hielo glaciar proporcionan posibles huellas estratigráficas debido a su larga residencia en diferentes ambientes y su alta resistencia a la degradación.

- Dióxido de carbono, el cual desde de 1850 ha aumentado en torno a 120 ppm (figura 6) como consecuencia de la quema abusiva de los hidrocarburos (Rubino *et al.*, 2013 citado en Waters *et al.*, 2016). De hecho, el CO<sub>2</sub> ha superado las 400 ppm en la actualidad (Wolff, 2011 citado en Waters *et al.*, 2016). Coincidiendo con este incremento de CO<sub>2</sub> se produce una fuerte caída de los isótopos de carbono o  $\delta^{13}\text{C}$  (figura 6). Ambos son percibibles tanto en el registro como en los anillos de los árboles, en los registros calcáreos y en las calizas (Lewis y Maslin, 2015).

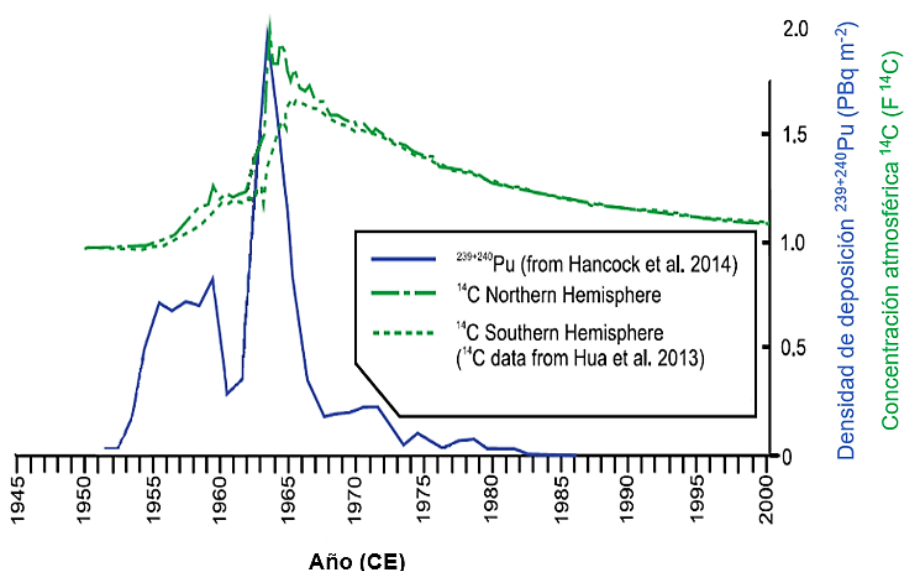


**Figura 6.** Gran Aceleración. Tendencias de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y  $\delta^{13}\text{C}$  en el hielo glaciar. En el recuadro verde se observa el crecimiento exponencial de CO<sub>2</sub> y el decrecimiento de  $\delta^{13}\text{C}$  asociado, producido desde 1850 (Waters *et al.*, 2016. Modificado).

- Metano, el cual desde 1875 ha sufrido un incremento sin precedentes. En 2004 llega a alcanzar 1700 ppbv. Relacionado con este incremento, se produce un decrecimiento de  $\delta^{13}\text{C}$  como consecuencia del aumento de las emisiones pirógenas, es decir, emisiones derivadas de la quema de biomasa (Waters *et al.*, 2016).

- Isótopos de oxígeno ( $\delta^{18}\text{O}$ ) asociados con el “exceso de deuterio” que viene determinado por la temperatura de mares y océanos. Desde 1850, este  $\delta^{18}\text{O}$  se ha incrementado levemente como consecuencia del aumento de la temperatura de mares y océanos (Waters *et al.*, 2018).
- Nitrógeno reactivo, resultante de la fabricación de fertilizantes a través del proceso Haber-Bosch. En los últimos años se ha producido una cantidad de nitrógeno reactivo del 120% con respecto a la línea base del Holoceno en el hielo glaciar (Galloway *et al.*, 2008 citado en Waters *et al.*, 2016). Como consecuencia de este aumento de nitrógeno reactivo aparece otro marcador estratigráfico, los isótopos de nitrógeno ( $\delta^{13}\text{N}$ ), que han disminuido considerablemente en lagos y en el hielo glaciar (Holtgrieve *et al.*, 2011 citado en Lewis y Maslin, 2015 y en Waters *et al.*, 2016).
- Fósiles bióticos, debido a la extinción de numerosas especies y a la introducción de especies exóticas invasoras. Ambos sucesos dejan claras evidencias paleontológicas (Cearreta, 2015). Por un lado, la tasa de extinción ha aumentado considerablemente, llegando a superar la tasa de referencia (Ceballos *et al.*, 2015 citado en Waters *et al.*, 2016) De hecho, se prevé un sexto evento de extinción masiva en los próximos siglos si se mantienen las tendencias actuales de pérdida de hábitat y sobreexplotación. (Barnosky *et al.*, 2011 citado en Waters *et al.*, 2016). Por otro lado, las invasiones de especies han aumentado principalmente, como consecuencia de la agricultura en la tierra y la pesca en el mar (Williams *et al.*, 2015 citado en Waters *et al.*, 2016). Según Ellis *et al.* (2010) citado en Waters *et al.*, (2016), en el año 1700, el 50% de la superficie terrestre libre de hielo era silvestre y solo el 5% era utilizado intensivamente por los humanos, pero desde el año 2000 estos valores se han invertido, siendo del 25% y 55%, respectivamente.
- Radionucleidos artificiales almacenados en los sedimentos y en el hielo asociados a las pruebas con armas nucleares (Waters *et al.*, 2014; 2015; 2016) desarrolladas entre 1945 y 1980 (Waters *et al.*, 2014; 2016). Posiblemente sea el marcador estratigráfico más extendido globalmente y sincrónico (Zalasiewicz *et al.*, 2015). Entre los radionucleidos e isótopos artificiales destacan el Plutonio 239 y el Carbono 14 (Waters, *et al.*, 2016). El  $^{239}\text{Pu}$  se considera un buen marcador, ya que es un componente esencial de la lluvia radiactiva, es estable en capas de roca sedimentaria y suelo,

permaneciendo estable hasta 100.000 años (Hancock *et al.*, 2014 citado en Waters *et al.*, 2018), tiene una larga vida media, una baja solubilidad y una alta reactividad y puede usarse junto a otros isótopos como el  $^{14}\text{C}$ . Por su parte, el  $^{14}\text{C}$  tiene una larga vida media, una alta solubilidad y una baja reactividad en sedimentos marinos limitan su idoneidad como marcador estratigráfico (Waters, *et al.*, 2015).



**Figura 7.** Radionucleidos artificiales. Concentración atmosférica de  $^{14}\text{C}$  y densidad de deposición  $^{239+240}\text{Pu}$  entre 1945 y 2000. Pico en la concentración de  $^{14}\text{C}$  y  $^{239+240}\text{Pu}$  en 1964 (Waters *et al.*, 2016. Modificado).

Algunos de estos marcadores estratigráficos (como los radionucleidos) tienen efectos sincrónicos mientras que otros los tienen casi sincrónicos pues la segunda mitad del siglo XX se ha caracterizado por la globalización y el asentamiento de una intensa tecnosfera globalmente interconectada (Haff, 2014 citado en Cearreta *et al.*, 2015 y en Zalasiewicz *et al.*, 2015). De modo que, la “Gran Aceleración” es el candidato óptimo para marcar el inicio del Antropoceno ya que los cambios más sustanciales y sincrónicos sobre el Sistema de la Tierra se han producido a mediados del siglo XX (Zalasiewicz *et al.*, 2017).

Estas afirmaciones quedan claramente reflejadas en las votaciones realizadas por el AWG en el 35° Congreso Geológico Internacional, pues la propuesta de la “Gran aceleración” de 1950 recibe el mayor número de votos, obteniendo 28,3. También se tiene en cuenta en estas votaciones el año 1964 como candidato al



inicio de la “Gran Aceleración”, pero adquiere un número muy bajo de votos, 1,3 (Zalasiewicz *et al.*, 2017).

Por tanto, y según lo expuesto anteriormente, sería posible establecer un GSSA y un GSSP. Para ello, es necesario seleccionar uno de los marcadores estratigráficos propuestos para la “Gran Aceleración”. Según la mayoría de los miembros del AWG el marcador estratigráfico más evidente sería los radionucleidos artificiales (Cearreta, 2015; Zalasiewicz *et al.*, 2017). En función a este marcador estratigráfico se ha sugerido establecer como límite el inicio de la era nuclear marcado por la detonación del dispositivo atómico de Trinidad en Alamogordo en Nuevo México, el 16 de julio de 1945 (Cearreta, 2015; Waters *et al.*, 2015). Alternativamente, se propone 1952 ya que representa el inicio del depósito de los isótopos radiactivos sobre la superficie terrestre resultado de las pruebas atómicas atmosféricas (Cearreta, 2015). Otros autores, como Lewis y Maslin (2015), sugieren el pico en la señal de  $^{14}\text{C}$  correlacionado con el  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y otros radionucleidos alcanzado en 1964 (figura 7). Sin embargo, el pico, no coincide con la práctica estratigráfica normal pues coloca el inicio del Antropoceno en el pico de la señal en lugar de en su inicio (Waters *et al.*, 2015) y, además, es posterior al incremento exponencial casi sincrónico de muchos parámetros físicos y socioeconómicos y de sus respectivas señales estratigráficas producido en torno al 1950 (Zalasiewicz *et al.*, 2015). Todas estas fechas corresponderían con el GSSA.

Es necesario por tanto, según la opinión de la mayoría del AWG buscar y elegir un candidato GSSP, ya que este es el método de definición de unidades de tiempo geológicas más familiar y aceptado (Cearreta, 2016; Zalasiewicz *et al.*, 2017). Un posible lugar para definir el Antropoceno, si se considera como marcador estratigráfico los radionucleidos, debería estar localizado en el hemisferio norte entre los 30-60° de latitud en ambientes marinos someros o lacustres donde se existe un máximo de sedimentación radiactiva (Cearreta, 2015).

No obstante, solo se trata de una conjetura, pues el AWG continua con el proceso de identificación de potenciales GSSPs mediante el análisis de grandes

ambientes deposicionales en rocas, sedimentos, capas de hielo, etc. en los que puedan encontrarse combinaciones de señales estratigráficas (Cearreta, 2016).

#### 4. SINTESIS Y CONCLUSIÓN.

---

El Antropoceno es un término que hace referencia al tiempo presente el cual está caracterizado por profundos cambios en el sistema terrestre derivados de las actividades humanas. Este concepto desde su definición por Eugene Stoermer y Paul Crutzen en el año 2000 se ha extendido rápidamente entre la comunidad científica. Sin embargo, a pesar de aparecer en numerosas publicaciones, aún no ha sido formalizado. Ante esta situación se ha creado el denominado Grupo de Trabajo del Antropoceno (AWG), encargado de determinar la validez, el nivel jerárquico y el límite inferior de inicio del Antropoceno, a partir de las evidencias en el registro geológico con el objetivo de incluir el Antropoceno dentro de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional como una nueva unidad geológica.

La mayoría de los autores y sobre todo, los miembros del AWG consideran que el Antropoceno es real y justificable estratigráficamente, son muy pocos autores los que cuestionan su validez. También son favorables de la asignación del Antropoceno como Época/Serie frente a otras opciones. Sin embargo, la definición de los límites del Antropoceno ha suscitado un intenso debate entre los autores debido a las diferentes vertientes de opinión sobre qué evidencia de la actividad antrópica es la más significativa y reconocible en el registro geológico a escala global. En función a las características de cada evidencia se han sugerido cuatro posibles alternativas que marcarían el inicio del Antropoceno: El Antropoceno temprano, la Colonización de América, la Revolución Industrial y la Gran Aceleración. Muy pocos autores y miembros del AWG son partidarios de las tres primeras opciones, pues las señales que lo caracterizan tienen un carácter diacrónico. La más aceptada es, por tanto, la Gran Aceleración de mediados del siglo XX, ya que está marcada por cambios sincrónicos y globales sobre el sistema terrestre resultantes de las actividades humanas. En caso de establecerse la Gran Aceleración de mediados del siglo XX como inicio del Antropoceno, la opinión generalizada es que el marcador estratigráfico que mejor lo definiría sería los radionucleidos vinculado con la escalada nuclear. De manera que el GSSA correspondería con la de detonación del dispositivo atómico de Trinidad en Alamogordo en Nuevo México, en 1945 y probablemente el GSSP estaría situado en el hemisferio norte entre los 30-60° de latitud en ambientes

marinos someros o lacustres. Sin embargo, se trata de una propuesta aún debatida por el Grupo de Trabajo del Antropoceno.

En conclusión, tal vez es demasiado pronto para considerar al Antropoceno como una nueva unidad geológica, debido al intenso debate que hay en torno a sus evidencias y a que posiblemente las evidencias más significativas tengan lugar en un futuro. Por eso, el AWG, debe continuar con el estudio de las evidencias y no precipitarse en tomar una decisión final. Independientemente de esta consideración es innegable que las actividades humanas están produciendo cambios significativos sobre el Sistema de la Tierra y que son distinguibles en el sustrato geológico.

## 5. BIBLIOGRAFÍA.

---

- Angus, I. (2015) "When Did the Anthropocene Begin...and Why Does It Matter?" *Monthly Review*, 67(4), 1-11.
- Autin, W.J. y Holbrook, J.M. (2012) "Is the Anthropocene an issue of stratigraphy or pop culture?" *GSA Today*, 22, 21-22
- Braje, T.J. (2016) "Evaluating the Anthropocene: is there something useful about a geological epoch of humans?" *Antiquity*, 90 (350), 504-518.
- Cearreta, A. (2015) "La definición geológica del Antropoceno según el Anthropocene Working Group (AWG)". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23 (3), 263-271.
- Cearreta, A. (2016) "El Antropoceno y los pasos necesarios para su posible formalización tras 35º Congreso Geológico Internacional" *Cuaternario y geomorfología*, 30 (3-4), 5-8.
- Cearreta, A., Remondo, J. y Arrizabalaga, A. (2015) "SIMPOSIO: Registro sedimentario del Antropoceno". *XIV Reunión Nacional de Cuaternario*. Granada, 30 junio-2 Julio 2015.
- Crutzen, P. J. (2002) "Geology of mankind- The Anthropocene" *Nature*, 415 (6867), 23.
- Finney, S. (2015) "Estado actual de la definición del "Antropoceno" como la última Época de la Tabla Cronoestratigáfica Internacional". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(2), 256-257.
- Gale, S.J. y Hoare, P.G. (2012) "The stratigraphic status of the Anthropocene" *Sage*, 22(12), 1491-1494.
- International Commission on Stratigraphy (2013-2016) *International Commission on Stratigraphy* [online] Disponible en: <<https://quaternary.stratigraphy.org/>> [consultado: 08 de diciembre del 2017].
- Lanata, J.L., Briones, C. y Monjeau, A. (2017) "La controversia sobre el antropoceno como oportunidad: una cuestión de enfoques en lugar de designaciones formales". *Interciencia*, 42(3), 186-189.
- Lewis, S.L. y Maslin, M.A. (2015) "Defining the Anthropocene". *Nature*, 519 (7542), 171-180.

- Mikhail, A. (2016) "Enlightenment Anthropocene". *Eighteenth-Century Studies*, 49 (2), 211-231.
- Ruddiman, W.F. y Thompson, J.S. (2001) "The case for human causes of increased atmospheric CH<sub>4</sub> over the last 5000 years". *Quaternary Science Reviews*, 20 (18), 1769-1777.
- Ruddiman, W.F. (2003) "The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago" *Climatic Change*, 61 (3), 261-293.
- Smith B.D. y Zeder M.A. (2013) "The onset of the Anthropocene" *Anthropocene*, 4, 8-13.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney., O. y Ludwig, C. (2015) "The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration". *The Anthropocene Review*, 2(1), 1-18.
- Steffen W., Crutzen, P.J. y McNeill, J.R (2007) "The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature?", *Ambio* 36(8), 614-621.
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Fairchild, I.J., Neil L.R., Neil J.L., Shotyk, W., Cearreta, A., Martin, J.H., Syvitski, J.P.M., Williams, M., Wapreigh, M., Barnosky, A.D., Zhisheng, A., Leinfelder, R., Jeandel, C., Gałuszka, A., Ivar do Sul, J.A., Gradstein, F., Steffen., McNeill, J.R., Wing, Scott., Poirier, C. y Edgeworth, M. (2018) "Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Anthropocene Series: Where and how to look for potential candidates" *Earth-Science Reviews*, 178, 379-429.
- Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Gałuszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D.B., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wapreigh, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N. y Wolfe, A.P. (2016) "The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene" *Science*, 351(6269), 137-149.
- Waters, C.N., Syvitski, J.P.M., Gałuszka, A., Hancock, G.J., Zalasiewicz, J., Cearreta, A., Grinevald, J., Jeandel, C., McNeill, J.R., Summerhayes, C. y Barnosky, A. (2015) "Can nuclear weapons fallout mark the beginning of the Anthropocene Epoch?" *Sage*, 71(3), 46-57.

- Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Williams, M., Ellis, M. y Snelling, A. M. (2014) *Stratigraphical Basis for the Anthopocene?* Londres: The Geological Society of London.
- Zalasiewicz, J. y Waters, C.N. (2016) "Geology and the Anthropocene" *Antiquity*, 90 (350), 512-513.
- Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Wolfe, A.P., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, M., Fairchild, I.J., Gałuszka, A., Haff, P., Hajdas, I., Head, M.J., Ivar do Sul, J.A., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Neal, C., Odada, E., Oreskes, N., Steffen, W., Wapreisch, M. y Williams, M. (2017) "The Working Group on the Anthropocene: Summary of evidence and interim recommendations" (2017) *Anthropocene*, 19, 55-60.
- Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Williams, M., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, M.A., Fairchild, I.J., Grinevald., J., Haff, P., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Odada, E.O., Poirier, C., Richter, D., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, J.P.M., Vidas, D., Wapreisch, M., Wing, S.L., Wolfe, A.P., Zhisheng, A. y Oreskes, N. (2015) "When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal" *Quaternary International*, 383, 196-203.
- Zalasiewicz, J. (2015) "Epochs: Disputed start dates for Anthropocene" *Nature*, 520, 436
- Zalasiewicz, J., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, M., Grinevald., J., McNeill, J., Poirier, C., Price, S., Richter, D., Scholes, M., Steffen, W., Vidas, D., Waters, C., Williams, M. y Wolfe, A.P. (2012) "Response to Autin and Holbrook on "Is the Anthropocene an issue of stratigraphy or pop culture?""
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Waters, C.N., Barnosky, A.D., y Haff, P. (2014) "The technofossil record of humans" *Anthropocene Review*, 1(1), 34-43.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A. y Ellis, M. (2011) "The "Anthropocene: a new epoch of geological time?" *The Royal Society*, 369, 835-841.
- Zalasiewicz, J., Williams, M., Smith, A., Barry T. F., Coe, A.L., Bown P.R., Brenchley, P., Cantrill, D., Gale, A., Gibbard, P., Gregory F.J., Hounslow, M.W., Kerr, A.C., Pearson, P., Knox, R., Powell, J., Waters, C., Marshall,

J., Oates, M., Rawson, P. y Stone, P. (2008) "Are we now living in the Anthropocene?" *GSA Today*, 18(2), 4-8.